



長期運動トレーニング歴を有する車椅子陸上長距離選手の上肢末梢運動神経伝導速度

著者	金 勝烈, 西平 賀昭, 東浦 拓郎, 八田 有洋, 林 悠佳, 林 久仁則, 黒岩 一雄, 金 福柱
雑誌名	日本運動生理学雑誌
巻	16
号	1
ページ	17-24
発行年	2009-06
権利	日本運動生理学会 本文データは学協会の許可に基づきCiNiiから複製したものである
その他のタイトル	The Effects of Long-term Exercise Training on the Motor Nerve Conduction Velocity (MCV) in Long-distance Wheelchair Athletes
URL	http://hdl.handle.net/2241/115880

長期運動トレーニング歴を有する 車椅子陸上長距離選手の上肢末梢運動神経伝導速度

金 勝烈*・西平賀昭*・東浦拓郎*・八田有洋**・
林 悠佳*・林久仁則*・黒岩一雄***・金 福柱****

The Effects of Long-term Exercise Training on the Motor Nerve Conduction Velocity (MCV) in Long-distance Wheelchair Athletes

Seungryol KIM *, Yoshiaki NISHIHARA *, Takuro HIGASHIURA *,
Arihiro HATTA **, Yuuka HAYASHI *, Kuninori HAYASHI *,
Kazuo KUROIWA *** and Bokju KIM ****

Abstract

This study was designed to clarify the effects of long-term exercise training on the motor nerve conduction velocity (MCV) and distribution of the MCV ($DMCV_{peak}$). The subjects were 9 long-distance wheel-chair racers who had undergone training of the upper limbs over many years (31.6 ± 2.2 years) and 9 non-racer wheel-chair users (20.5 ± 1.9 years). The MCV and $DMCV_{peak}$ were measured by the collision method in the median and ulnar nerves of the dominant and non-dominant limbs. As a result, the MCV and $DMCV_{peak}$ of both nerves were significantly faster in the wheel-chair racers than non-racers. This suggests that long-term exercise training causes changes in not only the MCV but also the $DMCV_{peak}$, which is the nerve conduction velocity involving the largest number of nerve fibers.

Key words: Collision method, median and ulnar nerves, exercise training, MCV, $DMCV_{peak}$

I. 緒言

長期運動トレーニングによる身体の生理学的変化は、最大酸素摂取量の増大¹⁴⁾、安静時における心臓の

徐脈化及び心拍出量の増大²⁰⁾、筋線維組成の変化^{9, 23)}などであり、呼吸器系や心血管系、骨格筋系の機能が改善することが広く知られている。近年では、長

-
- * 筑波大学大学院人間総合科学研究科 (〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1)
Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan
 - ** 横浜薬科大学健康薬学科 (〒245-0066 神奈川県横浜市戸塚区俣野町601)
Department of Health Pharmacy, Yokohama College of Pharmacy, 601 Matanocho, Yokohama 245-0066, Japan
 - *** 焼津市立和田中学校 (〒425-8502 静岡県焼津市田尻1984)
Yaizu Municipal Wadajunior high school 1984, Tajiri, yaizu, Shizuoka 425-0052, Japan
 - **** 韓国体育大学校 (〒138-763 韓国ソウル市松坡区五輪洞88-15)
The Korean national university of physical education, 88-55, Oryoondong, Songpagu Seoul 138-763, Korea

期運動トレーニングが脳・脊髄運動神経系に及ぼす影響について、事象関連電位やH反射などの電気生理学的指標を用いて検討されている。それらの先行研究では、長期運動トレーニングが脳内の刺激処理過程^{2, 13, 22, 30)}や運動準備・出力に関わる処理過程^{4, 6, 17)}の機能を変化させることを示唆している。また、運動が脊髄運動神経に及ぼす研究に関しては、長期運動トレーニングがIa求心性神経のシナプス入力を抑制させ、H反射の振幅を低下させることが報告されている^{21, 24, 28)}

一方、長期運動トレーニングの効果は、中枢神経系ばかりではなく末梢神経系においても古くから注目されている。今日までの先行研究の多くは運動神経伝導速度 (Motor nerve Conduction Velocity: MCV) を指標とし、長期運動トレーニングが末梢神経系に及ぼす影響について検討してきている。しかしながら、これまでに長期運動トレーニングを積んだ競技群と非競技群のMCVに差がないという報告^{16, 30)}と、競技群は非競技群に比べMCVが速いとする報告^{10, 11, 15, 19, 29)}があり、一致した見解が得られていないのが現状である。このように研究者間で見解が一致していないその理由としては、以下のような方法論的な問題点が挙げられる。MCVは最も速い運動神経線維の伝導速度を反映するものであると考えられているが、運動神経束は伝導速度の速いものから遅いものまで多数の神経線維で構成されており、従来のMCV測定では最も速い伝導速度を有する運動神経線維以外の情報を得ることは難しい。そこで、このような問題点を解

決するため、Collision法が考案された^{12, 32)}。Collision法は、同一神経線維の異なる2点での刺激が衝突して打ち消しあう現象を利用し、2点間の刺激間隔を変化させることによって、同一神経束内に含まれる最小伝導速度から最大伝導速度までの相対神経線維数を推定する方法である。本研究ではHopeにより開発され橋によって改変されたCollision法を用いた。これにより、MCVに加えて運動神経伝導速度分布 (Distribution of Motor nerve Conduction Velocity: DMCV) を得ることができる。したがって、Collision法を用いることにより、未だ不明確である長期運動トレーニングがMCVに及ぼす影響を詳細に検討することができるようになると考えられる。

そこで、本研究では長期運動トレーニング経験者のMCVと相対神経線維数の最も多い神経伝導速度を反映するDMCVのピーク値 (DMCV_{peak}) をCollision法を用いて測定し、長期運動トレーニングが上肢のMCV, DMCV_{peak}に及ぼす影響について明らかにすることを目的とする。

II. 実験方法

A. 被験者

本研究の被験者は競技者9名 (競技群) と非競技者12名 (非競技群) の計21名とした。競技群は10年以上の競技歴を持ち、現在も継続して競技を続けている車椅子陸上長距離選手とした。また、非競技群はこれまでに運動部に所属したことがなく、日常的に運動の機会に乏しい者とした。Edinburgh Handedness

Table 1 A physical characteristics of subjects

	Training group (n = 9)		Non-training group (n = 12)	
Age (years)	31.6 ± 2.2*		20.5 ± 1.9	
Height (cm)	—		170.5 ± 3.7	
Weight (kg)	63.7 ± 5.1		62.1 ± 7.3	
Career (years)	10.6 ± 3.3		—	
	Right	Left	Right	Left
Grip strength (kg)	57.6 ± 1.1* [#]	56.8 ± 1.0*	38.0 ± 5.4 [#]	35.8 ± 5.8
Maximum upper arm (cm)	35.4 ± 1.6* [#]	34.3 ± 1.3*	24.5 ± 1.6 [#]	23.8 ± 1.8
Maximum forearm circumference (cm)	29.3 ± 1.1*	28.7 ± 0.9*	24.0 ± 1.8	23.5 ± 1.8

Values are means ± SD.

*p < 0.05; a significant difference between training group and non-training group

[#]p < 0.05; a significant difference between dominant and non-dominant hand.

Inventory²⁷⁾の質問紙を用いて利き手の決定を行った結果、全被験者において右手が利き手であった。被験者の身体特徴を Table 1 に示す。なお、すべての被験者に対して、事前に実験の目的、方法などを詳細に説明し、実験参加の同意を得た。

B. 手順

実験室に被験者が入室すると、実験室内の環境（室温：22.5–25.5℃）に適応させるため、30分以上、座位姿勢で安静にさせた。その後、皮膚温測定用のサーミスタ温度プローブを測定部位である左右の前腕にそれぞれ装着した。アース電極も前腕尺骨の茎状突起に装着した。誘導電極には Ag/AgCl 皿電極を用い、約 2 cm 間隔で被験神経の支配筋の筋腹に電極を、遠位部の腱に近いところに不関電極を付けた。

被験神経を経皮的に刺激することによって支配筋より M 波を記録し、MCV, DMCV_{peak} を求めた。なお、利き側・非利き側の被験神経それぞれの MCV, DMCV_{peak} の測定順序は被験者間でランダムに行った。

C. 測定方法

被験神経は正中神経と尺骨神経とした。誘発筋電図の誘導は、尺骨神経では小指外転筋を、正中神経では短母指外転筋を用いた。MCV, DMCV_{peak} の測定には橋³⁰⁾の方法に準じた Collision 法を用いた。

Collision 法の基本原理解及び方法は以下のとおりである。Fig. 1 のように、被験神経上の 2 点（末梢側；S₁、中枢側 S₂、以下 S₁, S₂）で皮膚上より電気刺激を行う。神経線維の興奮伝導には、刺激部位より両方向に伝導される特性（両方向性伝導）があり、末梢側へ向かう下行性インパルスと脊髄へ向かう上行性インパルスとに分けられる。S₁, S₂ に同時に刺激を与えると、S₁ の下行性インパルスは、末梢側の支配筋に伝達され、誘発筋電位（M 波；M₁ 波）が出現する。一方、S₂ 下行性インパルスは、S₁ の上行性インパルスと 2 点間で衝突し、消失してしまうので末梢側の支配筋には伝達されない（Fig. 1A）。そこで、S₂ 刺激開始を徐々に遅らせていきと、S₁ から最も速い伝導速度をもつ神経線維の上行性インパルスが、その神経線維の不应期を含めて、S₂ を通過した時点で、中枢側刺激に対応した誘発筋電位 M 波（M₂ 波）の出現が始まる（Fig. 1B）。この M₂ 波が、出現し始めた刺激間隔で 2 点間の距離を除すると、被験神経束中の最も速い神経線維の伝導速度

（最大伝導速度）が得られる。さらに、S₂ の刺激開始時点をより遅らせていくと、S₁ 上行性インパルスが、S₂ を通過する神経線維数の漸増加に伴い、M₂ 波の振幅は漸次大きくなる（Fig. 1C）。そして S₁ の最も遅い伝導速度をもつ神経線維の上行性インパルスが、S₂ を通過した時点で、M₂ 波は最大になる（Fig. 1D）。この M₂ 波の振幅が、最大になる刺激間隔で 2 点間の距離を除すと、被験神経束中の最も遅い伝導速度をもつ神経線維の伝導速度が得られる。以上が Collision 法の基本原理解である。皮膚温の安定（30.2–33.5℃）を確認後に測定を開始した。刺激持続時間は 0.3 msec、刺激頻度は 1 Hz で行った。刺激強度は M 波の振幅が最大となる強度を用い、刺激効果を安定させるために M 波振幅が最大になる刺激強度の約 120% の最大上刺激（本実験では 100–120 V）で行った。刺激間隔はユニークメディカル社と日本光電社のニューロパックの 2 台の刺激装置を同時に駆動させた。M 波の記録はなるべく立ち上がりを鮮明にし、2 点刺激から記録される M 波は同一波形が得られるように特に留意した。刺激電極間距離の測定には巻尺を用いて末梢側刺激電極の陰極から中枢側刺激電極の陰極までの距離を計測した。

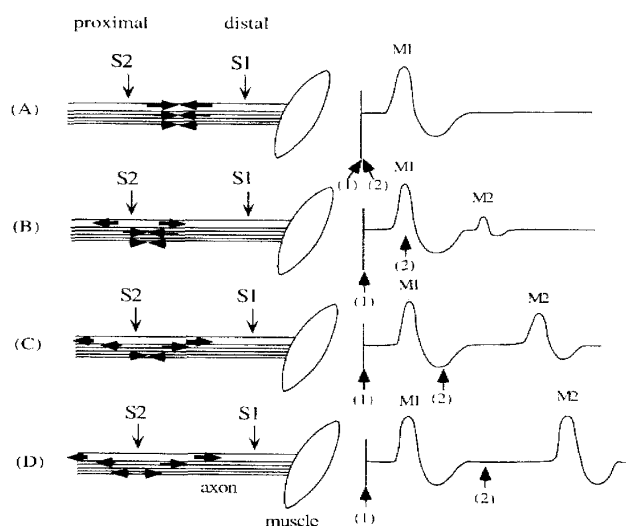


Fig. 1. A procedure of the Collision method to measure DMCV devised by Hopf and changed by Tachibana³²⁾

S1: distal stimulation

S2: proximal stimulation site

M1: Muscle response evoked by distal stimulation site

M2: Muscle response evoked by proximal stimulation site

D. 統計処理

各変数の測定結果は平均値 \pm 標準偏差で示した。年齢に関しては対応のない t 検定を行った。また、握力、上腕最大周囲径、前腕最大周囲径、MCV、DMCV_{peak} の測定結果は、群（競技群、非競技群） \times 利き側（利き側、非利き側）の二元配置混合型分散分析を行った。群に関して主効果が得られたときには対応のない t 検定を、利き側について主効果が得られた際には対応のある t 検定を行った。交互作用が得られたときには下位検定を行った。また、分散分析に際し、Mauchly の球面性が仮定できなかったときには Greenhouse-Geisser の ϵ を用いて自由度、有意確率を再計算した。有意水準は 0.05 未満とした。

Ⅲ. 結果

A. 被験者の身体特徴

Table 1 では被験者の身体特徴を示している。

年齢に関して対応のない t 検定を行った結果、非競技群に比べ競技群で有意に高い値を示した。

握力に関して二元配置混合型分散分析（群 \times 利き側）を行った結果、群 { $F(1, 19) = 118.16, p < 0.001$ } と利き側 { $F(1, 19) = 15.01, p = 0.001$ } の要因に主効果が認められた。群の要因に関して対応のない t 検定を行った結果、利き側、非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に太かった。また、利き側の要因に関して対応のある t 検定を行った結果、競技群、非競技群ともに非利き側に比べ利き側で有意に高い値を示した。なお、交互作用は認められなかった。

上腕最大周囲径に関して二元配置混合型分散分析（群 \times 利き側）を行った結果、群 { $F(1, 19) = 241.10, p < 0.001$ } と利き側 { $F(1, 19) = 69.63, p < 0.001$ } の要因に主効果が認められた。群の要因に関して対応のない t 検定を行った結果、利き側、非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に太かった。また、利き側の要因に関して対応のある t 検定を行った結果、競技群、非競技群ともに比べ利き側で有意に太かった。なお、交互作用は認められなかった。

前腕最大周囲径に関して二元配置混合型分散分析（群 \times 利き側）を行った結果、群 { $F(1, 19) = 69.19, p < 0.001$ } と利き側 { $F(1, 19) = 7.32, p = 0.014$ } の要因に主効果が認められた。群の要因に関して対応のない t 検定を行った結果、利き手側、非利き手側ともに非競技群に比べ競技群で有意に太かった。ま

た、利き側の要因に関して対応のある t 検定を行った結果、競技群では非利き側に比べ利き側で太い傾向を示した ($p = 0.072$)。なお、交互作用は認められなかった。

B. MCV

MCV に関しては、アーチファクトの混入により明瞭な M 波を記録できなかった非競技群 3 名を分析から除外した。Fig. 2 は尺骨神経における競技群と非競技群の MCV の結果を示している。尺骨神経の MCV に関して二元配置混合型分散分析（群 \times 利き側）を行った結果、利き側 { $F(1, 16) = 8.54, p < 0.01$ } と群 { $F(1, 16) = 48.32, p < 0.001$ } の要因に主効果が認められた。利き側の要因に関して対応のある t 検定を行った結果、非競技群では利き側に比べて非利き側で速い値を示した。また、群の要因

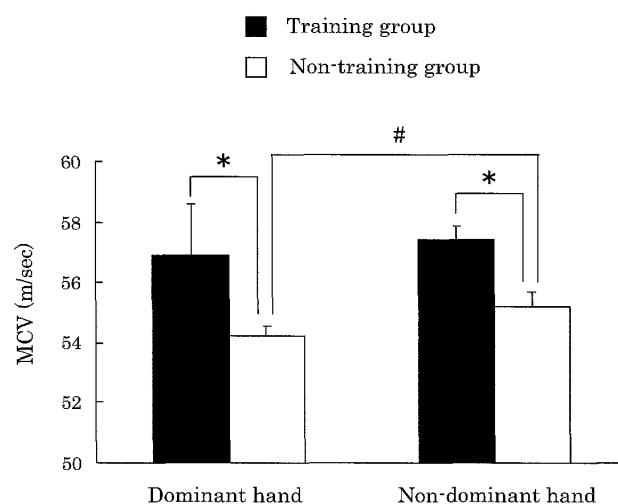


Fig. 2 shows the ulnar MCV of the dominant and non-dominant hands in the groups with and without training. On two-way mixed-model ANOVA (group \times dominant side), the dominant side: { $F(1, 16) = 8.54, p < 0.01$ }, and group: { $F(1, 16) = 48.32, p < 0.001$ }, showed main effects. Subsequently, the MCV was significantly faster in the training than in the non-training group in both the dominant and non-dominant hands. The MCV was significantly faster on the non-dominant side than dominant in the non-training group. Values are means \pm SE. * $p < 0.05$; a significant difference between training and non-training group. # $p < 0.05$; a significant difference between the dominant and non-dominant hands in the non-training group.

に関して対応のないt検定を行った結果、利き側、非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に速い値を示した。なお、交互作用は認められなかった。

Fig. 3は正中神経における競技群と非競技群のMCVの結果を示している。正中神経のMCVに関して二元配置混合型分散分析(群×利き側)を行った結果、利き側 { $F(1, 16)=11.86$, $p<0.001$ } と群 { $F(1, 16)=37.29$, $p<0.001$ } の要因に主効果が認められた。利き側の要因に関して対応のあるt検定を行った結果、非競技群では非利き側に比べて利き側で速い値を示した。群の要因に関して対応のないt検定を行った結果、利き側、非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に速い値を示した。なお、交互作用は認められなかった。

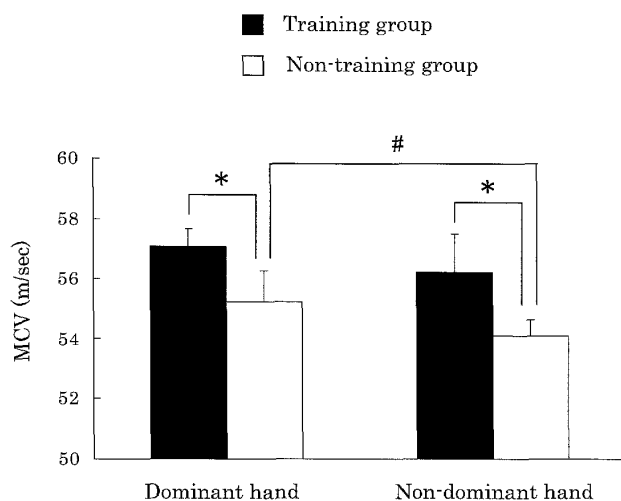


Fig. 3 shows the median MCV of the dominant and non-dominant hands in the training and non-training groups. On two-way mixed-model ANOVA (group × dominant side), the dominant side: { $F(1, 16)=11.86$, $p<0.001$ }, and group: { $F(1, 16)=37.29$, $p<0.001$ }, showed main effects. Subsequently, the MCV was significantly faster in the training than in the non-training group in both hands. The MCV was significantly faster on the dominant side than non-dominant in the non-training group. Values are means ± SE. * $p<0.05$; a significant difference between training and non-training group. # $p<0.05$; a significant difference between the dominant and non-dominant hands in the non-training group.

C. DMCV_{peak}

MCVと同様に、DMCV_{peak}についてもアーチファクトの混入により明瞭なM波を記録できなかった非競技群3名を分析から除外した。Fig. 4は尺骨神経における競技群と非競技群のDMCV_{peak}の結果を示している。尺骨神経のDMCV_{peak}に関して二元配置混合型分散分析(群×利き側)を行った結果、群 { $F(1, 16)=37.30$, $p<0.001$ } の要因に主効果が認められた。群の要因に関して対応のないt検定を行った結果、利き側、非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に速い値を示した。なお、交互作用は認められなかった。

Fig. 5は正中神経における競技群と非競技群のDMCV_{peak}の結果を示している。正中神経のDMCV_{peak}に関して二元配置混合型分散分析(群×利き側)を行った結果、群 { $F(1, 16)=31.41$, $p<0.001$ } の要因に主効果が認められた。群の要因に関して対応のないt検定を行った結果、利き側、非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に速い値を示した。なお、交互作用は認められなかった。

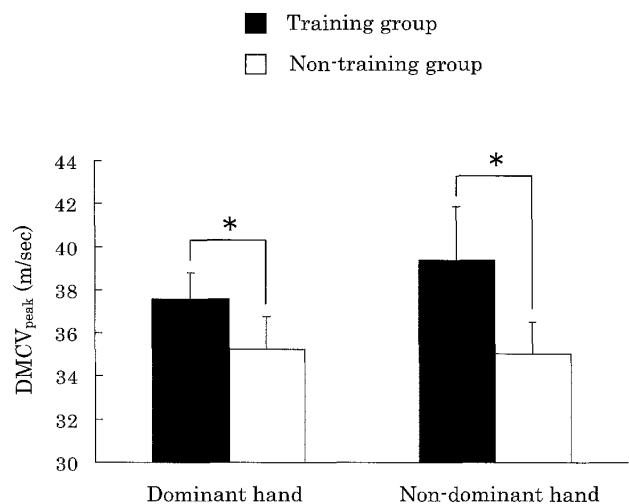


Fig. 4 shows the ulnar DMCV_{peak} of the dominant and non-dominant hands in the training and non-training groups. On two-way mixed-model ANOVA (group × dominant side), the group: { $F(1, 16)=37.30$, $p<0.001$ } showed a main effect. Subsequently, the DMCV_{peak} was significantly faster in the training than in the non-training group in both hands. Values are means ± SE. * $p<0.05$; a significant difference between training and non-training group.

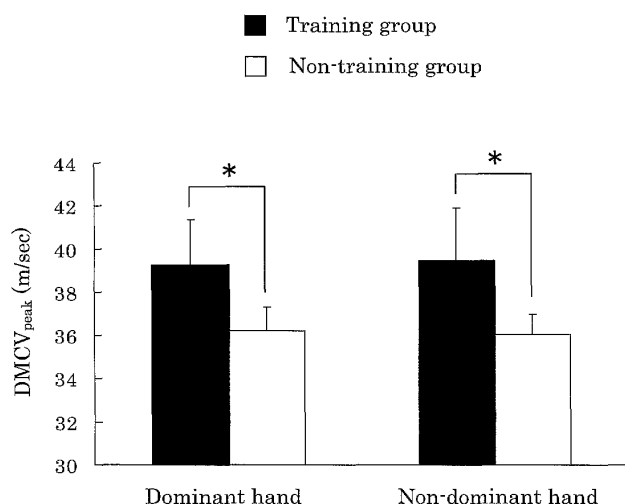


Fig. 5 shows the median DMCV_{peak} of the dominant and non-dominant hands in the training and non-training groups. On two-way mixed-model ANOVA (group × dominant side), the group: { $F(1, 16)=31.41, p<0.001$ } showed a main effect. Subsequently, the DMCV_{peak} was significantly faster in the training than in the non-training group in both hands. Values are means ± SE. * $p<0.05$; a significant difference between training and non-training group.

IV. 考察

本研究では長期運動トレーニング経験者の MCV と DMCV_{peak} について Collision 法を用いて測定し、長期運動トレーニングが上肢の MCV, DMCV_{peak} に及ぼす影響について検討した。

本研究における尺骨神経及び正中神経の MCV は、利き側、非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に速い値を示した (Fig. 1 and 2)。さらに、DMCV_{peak} においても、両神経、利き側と非利き側ともに非競技群に比べ競技群で有意に速い値を示した (Fig. 3 and 4)。

Kamen et al.¹⁵⁾ は複数の種目の競技者と非競技者を対象に尺骨神経と後脛骨神経の MCV を測定し、ウエイトリフティング競技者の MCV は他の種目の競技者と非競技者よりも両神経において有意に速い結果を得ている。さらに、男子陸上長距離選手の尺骨神経と後脛骨神経の MCV は非競技者及び他の種目の競技者 (男子陸上短距離選手, 女子陸上長距離選手, 女子陸上短距離選手, 男子競泳長距離選手, 男子競泳短距離選手) より遅いことも報告している。彼らの報告は、長期運動トレーニングが MCV に

影響を及ぼし、競技種目によって影響の現れ方が異なる可能性を示唆するものである。また、八田ら¹⁰⁾ も長期間にわたってトレーニングを行ってきた3つの競技群 (剣道群, バドミントン群, ソフトテニス群) と非競技群を対象に MCV と DMCV_{peak} を測定している。その結果、剣道群とバドミントン群の利き側尺骨神経の MCV 及び DMCV_{peak}, 剣道群の非利き側尺骨神経の MCV は非競技群より有意に速いことが示された。彼らは競技特性に着目し、片手を使って競技を行うバドミントン競技群では利き側において、両手を用いる剣道群では両側において長期運動トレーニングの影響がみられたと示唆している。本研究の被験者である車椅子競技群は、日々両手を用いて車椅子を操作して生活をし、さらに車椅子陸上長距離選手として10年以上活躍している者である。その競技は、下り坂やドラフティング走行中は手の駆動を休め休息することが可能になるが、基本的には継続して車椅子を駆動させるための持久力と、トップスピードで車椅子を駆動するときを使うパワーが必要となる¹⁾。したがって、彼らのトレーニングの特徴は有酸素閾値の運動、無酸素閾値の運動、それに運動を停止させる局面がミックスされたものである¹⁾。本研究においても、前腕及び上腕最大周囲径は非競技群に比べ競技群で有意に太く、さらに握力も競技群の方が高い値を示した (Table 1)。これは両側の上肢を長期間にわたりトレーニングしていた結果を示すものである。これらのことから、車椅子競技の特徴である有酸素性と無酸素性、さらにパワー系の複合的なトレーニングを長期間行うことにより、MCV 及び DMCV_{peak} が速まることが示唆された。なお、本研究における競技群の平均年齢は 31.6 ± 2.2 歳であり、非競技群 (20.5 ± 1.9 歳) に比べ高い値を示している。MCV の変動要因の1つとして年齢が挙げられ、MCV は加齢に伴い遅くなることが知られている^{8, 20, 25, 34)}。特にその影響は30歳以後で顕著に認められ³⁴⁾、高齢者では成人に比べ10-15%遅くなることが報告されている³⁵⁾。しかしながら、MCV, DMCV_{peak} は非競技群に比べて競技群で速い値を示しており、本研究の結果は年齢の差異よりも長期運動トレーニング歴の有無の影響を反映していると考えられる。

これまでに長期運動トレーニングが MCV, DMCV_{peak} を速めるメカニズムに関しては明らかにされていない。しかしながら、その可能性の1つと

長期運動トレーニングによる上肢末梢運動神経伝導速度の変化

しては長期運動トレーニングによる運動神経の形態的变化が考えられる。例えば、Edds⁷⁾はラットを用いた研究で、トレーニングによって筋が肥大すると同じように末梢神経の軸索の直径が増大することを報告している。さらに近年 Bengtsson et al.³⁾も長期的な運動をすれば大脳運動領域から脊髄へ向かう神経線維が増加することを報告している。また、Devor and Govrin-Lippmann⁵⁾はレジスタンストレーニングがMCVの増加をもたらしたと報告している。彼らはその背景として、レジスタンストレーニングが神経線維やミエリンの直径の増大に寄与していると考察している。同様に、Van Meeteren et al.³³⁾もラットの坐骨神経を押しつぶし、運動群には24日間のレジスタンストレーニングをさせた結果、回復期におけるMCVが対照群に比べ速いことを報告している。神経の伝導速度は軸索の直径に影響を受け、直径が太いほど伝導速度は速い。これは軸索抵抗が小さいため電流が多く流れ、隣接分節の興奮に必要な時間が短縮するためとされる³⁴⁾。したがって、本研究結果と今までの研究成果より、非競技群に比べ競技群のMCV、DMCV_{peak}が速い値を示したことは、先天的（遺伝的）な要因¹⁸⁾以外にも、車椅子競技の特徴である有酸素性と無酸素性、さらにパワー系の複合的なトレーニング内容がMCV及びDMCV_{peak}に変化を生じさせている可能性があると考えられる。

V. 結論

本研究では長期運動トレーニング経験者についてのMCVと相対神経線維数の最も多い神経伝導速度を反映するDMCV_{peak}についてCollision法を用いて検討し、長期運動トレーニングが上肢末梢運動神経伝導速度に及ぼす影響について検討した。その結果、非競技群に比べ競技群（車椅子陸上長距離選手）のMCV、DMCV_{peak}が速い値を示したことは、先天的（遺伝的）な要因¹⁸⁾以外にも、長期間にわたる有酸素性と無酸素性、さらにパワー系の複合的なトレーニングによってMCV及びDMCV_{peak}に変化を生じさせている可能性があると考えられる。

引用文献

- 1) 赤嶺卓哉, 前田 究 (1997) 車椅子マラソン－医学・科学的研究と実践指導－. 不昧堂出版, 95-115, 東京
- 2) 秋山幸代, 西平賀昭, 八田有洋, 麓 正樹, 金田健史, 時任真一郎, 下田政博 (2000) 長期的な運動経験が事象関連電位に及ぼす影響. 体力科学 49: 267-276
- 3) Bengtsson S L, Nagy Z, Skare S, Forsman L, Forssberg H, Ullén F (2005) Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter. *Nat Neurosci* 8: 1148-1150
- 4) Del percio C, Rossini P M, Marzano N, Iacoboni M, Infarinato F, Aschieri P, Lino A, Fiore A, Toran G, Babiloni C and Eusebi F (2008) Is there a "neural efficiency" in athletes? A high-resolution EEG study. *Neuroimage* 42: 1544-1553
- 5) Devor M and Govrin-Lippmann R (1979) Maturation of axonal sprouts after crush. *Exp Neurol* 64: 260-270
- 6) Di Russo F, Pitzalis S, Aprile T and Spinelli D (2005) Effect of practice on brain activity: an investigation in top-level rifle shooters. *Med Sci Sports Exerc* 37: 1586-1593
- 7) Edds M V Jr (1950) Hypertrophy of nerve fibers to functionally overloaded muscles. *J Comp Neurol* 93: 259-275
- 8) Falco F J E, Hennessey W J, Braddom R L and Goldberg G (1992) Standardized nerve conduction studies in the upper limb of the healthy elderly. *Am J Phys Med Rehabil* 71: 263-271
- 9) Fry A C, Allemeier C A and Staron R S (1994) Correlation between percentage fiber type area and myosin heavy chain content in human skeletal muscle. *Eur J Appl physiol Occup Physiol* 68: 246-251
- 10) Halar E M, Hammond M C and Dirks S (1985) Physical activity: its influence on nerve conduction velocity. *Arch Phys Med Rehabil* 66: 605-609
- 11) 八田有洋, 西平賀昭, 竹宮 隆, 下田政博, 李 蒼明 (1995) スポーツ競技者の尺骨神経伝導速度－剣道, バドミントン, ソフトテニス競技者と一般群との比較－. 日本運動生理学雑誌 2: 177-184
- 12) Hopf H C (1963) Electromyographic study on so-called mononeuritis. *Arch Neurol* 9: 307-312
- 13) Iwadata M, Mori A, Ashizuka T, Takayose M and Ozawa T (2005) Long-term physical exercise and somatosensory event-related potentials. *Exp Brain Res* 160: 528-532
- 14) Jones A M and Carter H (2000) The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med* 29: 373-386.
- 15) Kamen G, Taylor P and Beehler P J (1984) Ul-

- nar and posterior tibial nerve conduction velocity in athletes. *Int J Sports Med* 5: 26-30
- 16) Kato M (1960) The conduction velocity of the ulnar nerve and spinal reflex time measured by means of the H wave in average adults and athletes. *Tohoku J Exp Med* 73: 74-85
 - 17) Kita Y, Mori A and Nara M (2001) Two types of movement-related cortical potentials preceding wrist extension in humans. *Neuroreport* 12: 2221-2225
 - 18) Komi P V, Klissouras V and karvinen E (1973) Genetic variation in neuromuscular performance. *Int Z Angew Physiol* 31: 289-304
 - 19) Lastovka M (1969) The conduction velocity of the peripheral motor nerve fibres and physical training. *Act Nerv Super (praha)* 11: 308
 - 20) LaFratta C W and Canestrari R (1966) A comparison of sensory and motor nerve conduction velocities as related to age. *Arch Phys Med Rehabil* 47: 286-290
 - 21) Maffiuletti N A, Martin A, Babault N, Pensini M, Lucas B and Schieppati M (2001) Electrical and mechanical H (max)-to-M (max) ratio in power- and endurance-trained athletes. *J Appl Physiol* 90: 3-9
 - 22) Nakamoto H and Mori S (2008) Effects of stimulus-response compatibility in mediating expert performance in baseball players. *Brain Res* 1189: 179-188
 - 23) Narici M V, Hoppeler H, Kayser B, Landoni L, Claassen H, Gavardi C, Conti M and Cerretelli P (1996) Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand* 157: 175-186
 - 24) Nielsen J, Crone C and Hultborn H (1993) H-reflexes are smaller in dancers from the royal danish ballet than in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 66: 116-121
 - 25) Norris A H, Shock N W and Wagman I H (1953) Age change in the maximum conduction velocity of motor fibers of human ulnar nerve. *J Appl Physiol* 5: 589-593
 - 26) O'Sullivan S E and Bell C (2000) The effects of exercise and training on human cardiovascular reflex control. *J Auton Nerv Syst* 81: 16-24
 - 27) Oldfield R C (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113
 - 28) Ozmerdivenli R, Bulut S, Urat T and Ayar A (2002) The H- and T- reflex response parameters of long- and short-distance athletes. *Physiol Res* 51: 395-400
 - 29) 朴 峻賢, 藤田紀盛 (1991) スポーツトレーニングが末梢運動神経伝導速度分布に及ぼす影響. *Jpn J Sports Sci* 10: 155-161
 - 30) Polich J and Landon M T (1997) P300 and long-term physical exercise. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 103: 493-498
 - 31) Sleivert G G, Backus R D and Wenger H A (1995) Neuromuscular Differences between Volleyball Players, Middle Distance Runners and Untrained Controls. *Int J Sports Med* 16: 390-398
 - 32) 橋 滋国 (1987) 運動神経伝導速度 (DMCV) の測定. *臨床神経* 29: 710-714
 - 33) Van Meeteren N L, Rrakkee J H, Hamers Frank F P, Helders P J and Gispen W H (1997) Exercise training improves functional recovery and motor nerve conduction velocity after sciatic nerve crush lesion in the rat. *Arch Phys Med Rehabil* 78: 70-77
 - 34) 柳澤 健, 木村忠直, 後藤 昇 (1996) 末梢神経および筋線維の形態学的加齢変化. *理学療法学* 23: 441-443
 - 35) 吉田忠儀 (1977) 加齢の末梢神経伝導速度に及ぼす影響について. *臨床生理* 7: 412-419
(平成20年6月1日受付, 平成20年8月19日訂正, 平成21年4月20日受理)